

# JURNAL PROMOTIF PREVENTIF

## Pengaruh *Eco-Enzyme* Dalam Menurunkan Polutan Air Limbah Cair di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung

### *The Effect of Eco-Enzyme in Reducing Liquid Wastewater Pollution In Waste Water Treatment Installations Dr. Hasan Sadikin Bandung*

Maudy Dirgahayu H<sup>1</sup>, Hefnita<sup>1</sup>, Chaerudin<sup>1</sup>, Chandra Ardy Firdausi<sup>1</sup>, Muhamad Iqbal<sup>2</sup>, Fatmawati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RSUP Dr Hasan Sadikin Bandung

<sup>2</sup>Politeknik Kesehatan Bandung, Jurusan Kesehatan Lingkungan

#### Article Info

##### Article History

Received: 04 Nov 2024

Revised: 03 Dec 2024

Accepted: 18 Dec 2024

#### ABSTRACT / ABSTRAK

*Wastewater treatment using eco-enzyme, a fermented organic waste product, is an environmentally friendly solution supporting organic waste management in Indonesia. Dr. Hasan Sadikin General Hospital, Bandung, chose this method to treat organic waste because, in addition to being effective for liquid waste treatment, eco-enzyme also functions as a room cleaner and pest repellent, in line with government instructions on independent waste management. This study used an experimental design with strict control and a post-test with a control group method to evaluate the effectiveness of eco-enzymes in reducing wastewater quality parameters such as Total Suspended Solids (TSS), pH, BOD5, COD, ammonia, oil/fat, and coliform at the Wastewater Treatment Plant (IPAL) of Dr. Hasan Sadikin General Hospital, Bandung. Eco-enzyme was tested in three concentration variations (1 ml, 5 ml, and 10 ml per 5 liters of wastewater) to determine the optimal significant dose. The results showed that at a concentration of 1 ml, eco-enzyme was effective in significantly reducing TSS, COD, and ammonia. On the contrary, the concentration of 5 ml increased several parameters, such as TSS and COD, indicating that low concentrations are more effective. Therefore, using eco-enzyme at a concentration of 1 ml per 5 liters of wastewater is recommended as an effective initial dose.*

**Keyword:** *Eco-Enzyme, Liquid Wastewater Pollutant*

Pengolahan air limbah menggunakan eco-enzyme, hasil fermentasi sampah organik, menjadi solusi ramah lingkungan yang juga mendukung penanganan limbah organik di Indonesia. RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung memilih metode ini untuk mengolah limbah organik karena selain efektif untuk pengolahan air limbah cair, eco-enzyme juga berfungsi sebagai pembersih ruangan dan pengusir hama, sejalan dengan instruksi pemerintah tentang pengelolaan limbah mandiri. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen dengan kontrol ketat dan metode post-test with control group untuk mengevaluasi efektivitas eco-enzyme dalam menurunkan parameter kualitas air limbah seperti Total Suspended Solids (TSS), pH, BOD5, COD, amoniak, minyak/lemak, dan coliform di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung. Eco-enzyme diuji dalam tiga variasi konsentrasi (1 ml, 5 ml, dan 10 ml per 5 liter air limbah) untuk menentukan dosis optimal yang signifikan. Hasilnya menunjukkan bahwa pada konsentrasi 1 ml, eco-enzyme efektif menurunkan TSS, COD, dan amoniak secara signifikan. Sebaliknya, konsentrasi 5 ml justru meningkatkan beberapa parameter seperti TSS dan COD, yang menunjukkan bahwa konsentrasi rendah lebih efektif. Oleh karena itu, disarankan penggunaan eco-enzyme pada konsentrasi 1 ml per 5 liter air limbah sebagai dosis awal yang efektif.

**Kata kunci:** *Eco-Enzyme, Polutan Air Limbah Cair*

#### Corresponding Author:

Name : Maudy Dirgahayu

Affiliate : RSUP dr Hasan Sadikin Bandung

Address : Jl. Pasteur No.38, Pasteur, Kec. Sukajadi, Kota Bandung, Jawa Barat 40161

Email : maudydirgahayu@gmail.com

## PENDAHULUAN

Permasalahan teknologi pengolahan air limbah, baik dari hasil kegiatan domestik maupun industri telah dikembangkan dengan kemajuan yang sangat pesat, baik pengolahan dengan prinsip kimia maupun biologi. Pengolahan kimia meskipun mempunyai hasil yang memuaskan, namun mempunyai konsekuensi biaya yang tinggi, baik biaya bahan kimia itu sendiri maupun hasil samping lumpur bahan berbahaya dan beracun (LB3) yang tidak bisa direduksi maupun didaur ulang. Alternatif pengolahan air limbah dengan prinsip biologi aerob serta anaerob umumnya memerlukan biaya yang lebih rendah dari pada pengolahan kimia, namun hasil samping lumpur tetap tidak dapat dihindari meskipun beberapa strategi seperti *extended aeration* dan *food chain reactor* dapat menurunkan produksi hasil samping LB3 tersebut. (Lerner, Stahl, and Galil 2007).

Eco-enzyme dapat diperoleh dari proses fermentasi anaerobik sisa / sampah buah-buahan dan sayuran dengan ditambah gula merah atau molase. Cara pembuatan *eco-enzyme* hampir sama dengan pembuatan kompos, namun bedanya yaitu pada *eco-enzyme* ditambahkan air dengan perbandingan air : sampah organik : molase (gula merah) sebesar 10 : 3 : 1 dengan waktu fermentasi selama minimal 3 bulan. (Permatananda and Pandit 2023) Mengingat pembuatan *eco-enzyme* mudah dan murah maka penggunaan ini lebih disukai oleh masyarakat. *Eco-enzyme* pertama kali dicetuskan oleh Dr. Rosukon Poompanvong, yaitu seorang peneliti dari Thailand yang telah menekuni tentang *eco-enzyme* lebih dari 30 tahun. (Hasanah 2020).

Digunakannya 30 % sampah organik sebagai bahan baku dalam pembuatan *eco-enzyme* merupakan hal yang menarik karena rekayasa ini dapat membantu permasalahan sampah organik. Di Indonesia volume sampah yang harus dikelola diperkirakan mencapai 64 juta ton setiap tahun. Bahkan di tahun 2020, dalam skala nasional dihasilkan 67.8 juta ton jumlah timbulan sampah. (Widhiarso, Jatiningih, and Nayla 2023) Tambahan lagi, berdasarkan laporan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), terdapat 60% sampah organik yang mendominasi dari timbulan sampah di Indonesia. (Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah and Sampah 2021)

Pada awalnya *eco-enzyme* digunakan untuk perbaikan lahan pertanian, yaitu sebagai pupuk organik. Penggunaan *eco-enzyme* dari kulit buah naga, buah terung dan buah apel yang dilarutkan 1 : 800 untuk penyiraman tanah selama 4 minggu menunjukkan peningkatan kadar nitrogen dan zat hara yang berasal dari nutrient yang terkandung dalam *eco-enzyme*. (Fadlilla, Budiastuti, and Rosariastuti 2023) Selanjutnya dimanfaatkan pula untuk pembersih lantai, pencucian sayur dan buah, pemberantasan hama dan serangga serta penyubur tanaman, dapat juga digunakan sebagai bahan tambahan untuk anti mikroba dan membunuh virus & bakteri serta meningkatkan imunitas ikan *eco-enzyme* disebut juga sebagai zat organik yang sempurna untuk kebutuhan pembersih di rumah tangga. (Muliarta and Darmawan 2021) Selain itu, *eco-enzyme* yang terbuat dari kulit buah semangka juga terbukti digunakan untuk pengawetan buah anggur, baik anggur merah maupun anggur hitam. (Mardhiyah et al. 2022) Oleh karena itu, banyak masyarakat yang sudah mencoba membuat dan menggunakan *eco-enzyme*, baik untuk sekedar memenuhi hobi dan kebutuhan pribadi, namun ada juga untuk keperluan komersial. Penggunaan *Eco enzyme* dalam IPAL dapat

membantu meningkatkan efisiensi pengolahan limbah, mengurangi pencemaran lingkungan, dan memperpanjang masa pakai peralatan IPAL (Vidalia et al. 2023)

Instalasi Gizi RSUP dr Hasan Sadikin Bandung menghasilkan limbah organik 35 Kg / hari yang selama ini limbah organik tersebut di buang ke TPS. Sehubungan dengan terjadinya kedaruratan Limbah di Kota Bandung, berimbas pada pembuangan limbah yang dihasilkan di RSUP dr Hasan Sadikin Bandung. Pemerintah kota Bandung menginstruksikan agar seluruh institusi melakukan pengolahan mandiri terhadap limbah yang dihasilkan. Adapun pengolahan yang disarankan antara lain, Komposting, Takakura, Biopori, Open damping, *Eco enzyme*, dan yang lainnya.

Atas dasar itu RSUP Dr Hasan Sadikin Bandung melalui Instalasi Kesehatan Lingkungan melakukan upaya pengolahan sampah / limbah organiknya menggunakan metoda *Eco enzyme*. Pengolahan limbah organik dengan metoda *Eco enzyme* dipilih karena sangat besar manfaatnya terhadap lingkungan sekitarnya. Metoda *Eco enzyme* dapat menghasilkan produk baru berupa *Enzyme* yang bermanfaat bagi lingkungan. Selain bisa digunakan untuk membantu proses pengolahan air limbah cair juga dapat digunakan sebagai bahan pembersih ruangan dan pengusir serangga dan binatang pengganggu.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen dengan kontrol, dengan rancangan *post-test with control group*, yang bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan *eco enzym* dalam menurunkan beberapa parameter kualitas air limbah, seperti *Total Suspended Solids* (TSS), pH, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), amoniak, minyak/lemak, dan coliform. Penelitian ini dilakukan pada air limbah di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RSUP dr. Hasan Sadikin Bandung. Populasi yang digunakan adalah air limbah yang diproses oleh IPAL RSUP dr. Hasan Sadikin. Penelitian ini dilaksanakan di RSUP Hasan Sadikin Bandung bulan April sampai Juni 2024. Sampel yang diambil dalam penelitian ini berdasarkan banyaknya perlakuan yang digunakan 3 (tiga) perlakuan yaitu 3 jenis perlakuan. Setiap pengulangan terdiri dari 3 (tiga) perlakuan, maka didapatkan, 3 perlakuan x 6 pengulangan = 18 sampel + 1 kontrol = 19 sampel. Teknik pengumpulan data berupa dengan pengujian laboratorium yaitu pemeriksaan kadar TSS, pH, BOD, COD, amoniak, minyak/lemak, dan coliform pada air limbah sebelum dan sesudah perlakuan.

Dalam penelitian ini, *eco enzym* yang digunakan memiliki tiga variasi konsentrasi, yaitu 1 ml, 5 ml, dan 10 ml untuk setiap 5 liter sampel air limbah. Setiap konsentrasi diterapkan pada sampel air limbah yang sama untuk mengamati efektivitas *eco enzym* dalam menurunkan parameter kualitas air seperti TSS, pH, BOD, COD, amoniak, minyak/lemak, dan coliform. Variasi konsentrasi ini bertujuan untuk menentukan dosis optimal yang dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas air limbah, sehingga perbandingan antar konsentrasi memungkinkan peneliti mengevaluasi pengaruh setiap jumlah *eco enzym* terhadap perubahan parameter yang diukur. Data yang dikumpulkan meliputi data primer dan sekunder. Data primer adalah hasil pengujian laboratorium pada parameter TSS, pH, BOD, COD, amoniak, minyak/lemak, dan coliform, yang diukur sebelum dan setelah perlakuan *eco enzym*. Data sekunder diambil dari berbagai referensi, seperti buku, artikel, dan jurnal penelitian yang relevan. Alat pengumpul data meliputi alat tulis, kamera, *coolbox*, serta peralatan sanitasi seperti alkohol dan sarung tangan steril untuk proses pengambilan sampel. Teknik

pengumpulan data dilakukan melalui pengujian laboratorium untuk mengukur perubahan parameter kualitas air limbah sebelum dan sesudah perlakuan dengan *eco enzym*.

## HASIL

**Tabel 1.** Hasil Pemeriksaan Bakteri Coliform Pada Air Limbah

Sampel Limbah	Coliform air limbah (MPN)		
	Rata - rata	Minimal	Maksimal
Coliform (MPN)	2400	2400	2400
TSS (Mg/L)	32.63	6.96	71.43
pH	7.14	6.87	7.14
BOD <sub>5</sub> (Mg/L)	64.78	37	160
COD (Mg/L)	130.87	72.68	374
Amoniak (Mg/L)	9.93	3.99	20.54
Minyak/Lemak (Mg/L)	5.18	0.4	13.6

Sumber: Data Primer, 2024

Hasil pengujian terhadap berbagai parameter kualitas air limbah menunjukkan bahwa *eco enzym* memberikan efek yang bervariasi. Pada parameter coliform, hasilnya konsisten dengan rata-rata, nilai minimal, dan maksimal sebesar 2400 MPN, yang menunjukkan bahwa *eco enzym* belum efektif dalam menurunkan jumlah coliform. Hal ini mengindikasikan perlunya modifikasi *eco enzym* dengan agen anti-mikroba alami, seperti ekstrak daun sirih atau bawang putih, untuk meningkatkan efektivitasnya. Pada *Total Suspended Solids* (TSS), rata-rata nilainya sebesar 32.63 mg/L, dengan minimum 6.96 mg/L dan maksimum 71.43 mg/L, menunjukkan adanya kemampuan *eco enzym* untuk mengurangi padatan tersuspensi pada konsentrasi tertentu, meskipun pada konsentrasi lain terjadi peningkatan. Penurunan ini dapat terjadi karena *eco enzym* memecah partikel tersuspensi dalam limbah, sementara peningkatan kemungkinan dipengaruhi oleh variabilitas konsentrasi enzim. Pada parameter pH, hasil pengujian menunjukkan rata-rata sebesar 7.14, dengan nilai minimum 6.87 dan maksimum 7.14, yang mengindikasikan perubahan pH yang kecil dan tetap dalam rentang netral. Untuk BOD<sub>5</sub>) rata-rata nilainya sebesar 64.78 mg/L, dengan minimum 37 mg/L dan maksimum 160 mg/L. Penurunan BOD<sub>5</sub> mencerminkan pengurangan bahan organik yang memerlukan oksigen untuk dekomposisi, tetapi efektivitasnya tampak tidak konsisten di semua konsentrasi. Demikian pula, pada *Chemical Oxygen Demand* (COD), rata-rata nilainya adalah 130.87 mg/L, dengan minimum 72.68 mg/L dan maksimum 374 mg/L. Penurunan COD menunjukkan kemampuan *eco enzym* dalam mengoksidasi bahan organik dan anorganik, meskipun peningkatan pada konsentrasi tertentu menunjukkan adanya saturasi atau penurunan aktivitas enzim. Pada parameter amoniak, rata-rata nilainya tercatat sebesar 9.93 mg/L, dengan minimum 3.99 mg/L dan maksimum 20.54 mg/L, yang menunjukkan adanya penurunan kadar amoniak pada konsentrasi tertentu, namun konsistensinya masih perlu ditingkatkan. Untuk minyak/lemak, rata-rata nilainya adalah 5.18 mg/L, dengan minimum 0.4 mg/L dan maksimum 13.6 mg/L. Penurunan signifikan pada konsentrasi tertentu menunjukkan kemampuan enzim, terutama lipase, dalam memecah lemak dan minyak. Namun, peningkatan kadar minyak/lemak pada konsentrasi lain menunjukkan bahwa efektivitas *eco enzym* belum stabil, memerlukan

penelitian lebih lanjut untuk memastikan dosis optimal yang konsisten untuk semua parameter. Secara keseluruhan, *eco enzym* memiliki potensi besar sebagai alternatif ramah lingkungan dalam pengolahan air limbah, dengan catatan bahwa modifikasi dan optimasi lebih lanjut diperlukan untuk memastikan hasil yang lebih stabil dan konsisten.

**Tabel 2 Uji Statistik *Kruskal Wallis***

Parameter	<i>Kruskal-Wallis H</i>	df	<i>Asymp, Sig,</i>
Coliform	0,000	3	1,000
TSS	18,766	3	0,000
pH	16,737	3	0,001
BOD	16,195	3	0,001
COD	19,361	3	0,000
Amoniak	15,299	3	0,002
Minyak/Lemak	16,891	3	0,001

Sumber: Data Primer (dioah), 2024

Hasil uji *Kruskal-Wallis* menunjukkan perbedaan signifikan untuk TSS ( $H = 18,766$ ,  $p = 0,000$ ), pH ( $H = 16,737$ ,  $p = 0,001$ ), BOD5 ( $H = 16,195$ ,  $p = 0,001$ ), COD ( $H = 19,361$ ,  $p = 0,000$ ), amoniak ( $H = 15,299$ ,  $p = 0,002$ ), dan minyak/lemak ( $H = 16,891$ ,  $p = 0,001$ ). Namun, coliform tidak menunjukkan perbedaan signifikan ( $H = 0,000$ ,  $p = 1,000$ ).

## PEMBAHASAN

### Hubungan Penambahan *Eco enzym* pada Limbah dan Keberadaan Coliform

Fenomena ini terjadi karena sifat Coliform yang lebih resisten terhadap penguraian oleh *eco enzym* dalam konsentrasi yang digunakan. Beberapa studi menunjukkan bahwa Coliform memerlukan kondisi lingkungan yang spesifik dan konsentrasi agen pengurai yang lebih tinggi untuk dapat berkurang secara signifikan. (Rachmani, Maharani, and Febrina 2024) Misalnya, dalam penelitian oleh Munasinghe (2019), ditemukan bahwa penguraian bakteri Coliform dalam limbah memerlukan kombinasi perlakuan kimia dan enzim dengan dosis yang lebih tinggi. Oleh karena itu, efek *eco enzym* dalam penelitian ini mungkin tidak cukup kuat untuk menurunkan kadar Coliform secara signifikan. (Munasinghe-Arachchige et al. 2019)

*Eco enzym* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki komposisi enzim yang berbeda dibandingkan dengan *eco enzym* komersial atau buatan yang digunakan dalam penelitian lain. Dalam penelitian ini, penambahan *eco enzym* buatan sendiri pada air limbah dilakukan dengan konsentrasi yang berbeda (1 ml, 5 ml, dan 10 ml) untuk mengamati pengaruhnya terhadap parameter kualitas air seperti Coliform, TSS, pH, BOD5, COD, Amoniak, dan Minyak/Lemak. *Eco enzym* yang digunakan merupakan enzim yang dibuat secara mandiri dari bahan-bahan alami, bukan produk komersial yang dibeli. Variasi ini dapat mempengaruhi kemampuan *eco enzym* untuk mengurai senyawa-senyawa tertentu dalam limbah. Enzim-enzim spesifik seperti protease, lipase, dan amilase memiliki aktivitas yang berbeda terhadap berbagai jenis kontaminan dalam limbah. Misalnya, enzim protease lebih efektif dalam menguraikan bahan organik berbasis protein, sementara lipase lebih berfokus pada lemak dan minyak. (Fanin, Moorhead, and Bertrand 2016) Penelitian oleh Vidalia et al. (2021) menunjukkan bahwa *eco enzym* yang mengandung campuran enzim lebih efektif dalam mengurangi parameter kualitas

air secara keseluruhan, terutama pada TSS, BOD5, dan COD. Namun, *eco enzym* dengan komposisi enzim yang kurang seimbang mungkin tidak efektif untuk menguraikan semua jenis kontaminan. (Vidalia et al. 2023)

Secara umum, ada hubungan antara parameter kualitas air seperti TSS, BOD5, dan COD, di mana penurunan dalam satu parameter biasanya diikuti oleh penurunan pada parameter lainnya. Hal ini karena TSS berkaitan dengan partikel padatan tersuspensi yang menyumbang nilai BOD5 dan COD dalam air limbah. Ketika TSS berkurang, nilai BOD5 dan COD cenderung ikut menurun karena bahan organik yang terlarut juga berkurang. Namun, penambahan *eco enzym* tidak selalu berdampak sama pada setiap parameter, mengingat setiap parameter memiliki karakteristik yang berbeda. Sebagai contoh, Amoniak mungkin tidak banyak terpengaruh karena stabilitas senyawanya dan ketahanannya terhadap penguraian oleh *eco enzym* dalam konsentrasi yang diuji.

### **Hubungan Penambahan *Eco enzym* pada TSS dalam Limbah**

Penurunan TSS yang signifikan dengan penambahan *eco enzym* ini menunjukkan bahwa enzim buatan sendiri mampu mempengaruhi partikel tersuspensi dalam limbah. Namun, karena *eco enzym* yang digunakan adalah buatan sendiri, bukan produk komersial, komposisi enzim yang dihasilkan mungkin tidak sama dengan enzim komersial yang telah dioptimalkan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kualitas dan komposisi enzim sangat memengaruhi efektivitasnya terhadap TSS. (Galintin, Rasit, and Hamzah 2021)

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian oleh Liu et al. (2019), yang menunjukkan bahwa *eco enzym* dapat mengurangi TSS secara signifikan pada air limbah industri ketika digunakan pada konsentrasi yang tepat. Penelitian Zhang et al. menemukan bahwa *eco enzym* dengan konsentrasi antara 5 ml hingga 15 ml lebih efektif dalam mengurangi TSS. (Liu et al. 2016) Di sisi lain, penelitian oleh Mavani (2020) menunjukkan hasil yang berbeda, di mana *eco enzym* pada konsentrasi rendah (1 ml) sudah cukup untuk menurunkan TSS secara signifikan. Ketidaksesuaian ini mungkin disebabkan oleh perbedaan dalam bahan baku dan proses pembuatan *eco enzym*. *Eco enzym* buatan sendiri dalam penelitian ini mungkin tidak memiliki komposisi yang seimbang dibandingkan dengan produk komersial, sehingga membutuhkan konsentrasi yang lebih tinggi untuk mendapatkan efek yang serupa. (Mavani et al. 2020)

Efektivitas *eco enzym* buatan sendiri dalam mengurangi TSS tampak bervariasi berdasarkan konsentrasi yang digunakan. Pada konsentrasi 1 ml, *eco enzym* menunjukkan pengaruh yang cukup kecil terhadap penurunan TSS, yang mungkin disebabkan oleh konsentrasi enzim yang tidak mencukupi untuk menguraikan seluruh partikel tersuspensi. Pada konsentrasi 5 ml, efek penurunan TSS lebih terlihat dan signifikan, yang menunjukkan bahwa pada tingkat ini, enzim memiliki konsentrasi yang cukup untuk bekerja secara efektif terhadap partikel tersuspensi. (Khadaroo et al. 2019) Namun, pada konsentrasi 10 ml, efek penurunan TSS justru mulai menurun atau menjadi tidak signifikan, yang mungkin disebabkan oleh fenomena saturasi enzim. Penelitian oleh Azanaw et al. (2018) menunjukkan bahwa konsentrasi enzim yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penghambatan aktivitas enzim karena interaksi antar molekul enzim yang berlebihan, yang dapat mengurangi efektivitasnya. (Azanaw et al. 2022)

TSS memiliki hubungan yang erat dengan parameter kualitas air lainnya, terutama BOD5 dan COD, karena padatan tersuspensi berkontribusi pada kebutuhan oksigen dalam proses penguraian bahan organik. Penurunan TSS biasanya diikuti oleh penurunan BOD5 dan

COD, karena berkurangnya jumlah padatan tersuspensi berarti berkurangnya bahan organik yang memerlukan oksigen untuk diuraikan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan TSS berbanding lurus dengan penurunan COD pada beberapa konsentrasi *eco enzym*, yang menunjukkan bahwa penurunan TSS secara langsung berkontribusi pada peningkatan kualitas air limbah. Namun, hubungan ini tidak selalu berlaku untuk parameter seperti Coliform atau Amoniak, karena komponen tersebut tidak terpengaruh oleh perubahan TSS dan lebih dipengaruhi oleh faktor lain, seperti jenis enzim yang digunakan dan kondisi lingkungan.

Penurunan atau peningkatan pH dalam air limbah yang terlihat pada konsentrasi tertentu mungkin dipengaruhi oleh sifat *eco enzym* buatan sendiri yang terdiri dari komponen organik dan asam alami. *Eco enzym* sering kali memiliki pH asam karena fermentasi bahan organik, sehingga penambahan *eco enzym* dalam jumlah tertentu dapat menurunkan pH air limbah. Dalam penelitian ini, efek penambahan *eco enzym* terhadap pH mungkin juga bergantung pada tingkat keasaman awal limbah dan konsentrasi enzim yang cukup untuk menghasilkan perubahan yang signifikan. (Rasit, Hwe Fern, and Ab Karim Ghani 2019) Menurut penelitian oleh Varshiniet al. (2023), *eco enzym* yang dibuat dari fermentasi bahan organik cenderung memiliki pH antara 3 hingga 5, yang dapat menurunkan pH limbah ketika ditambahkan dalam jumlah besar. (Varshini and Gayathrif 2023)

Efektivitas *eco enzym* buatan sendiri terhadap perubahan pH dalam air limbah bervariasi bergantung pada konsentrasi yang digunakan. Pada konsentrasi 1 ml, perubahan pH yang dihasilkan relatif kecil dan tidak cukup kuat untuk mengubah pH limbah secara signifikan. Pada konsentrasi 5 ml, efek penurunan pH terlihat lebih jelas, yang menunjukkan bahwa konsentrasi ini cukup untuk mempengaruhi pH air limbah. Pada konsentrasi 10 ml, perubahan pH lebih signifikan, tetapi dalam beberapa kasus terjadi penurunan pH yang berlebihan, yang dapat menjadi masalah bagi beberapa aplikasi industri. Fenomena ini sesuai dengan hasil studi oleh Gumilar et al. (2023), yang menunjukkan bahwa konsentrasi enzim yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan pH secara drastis, yang mungkin tidak selalu diinginkan tergantung pada kebutuhan pengolahan limbah. (Gumilar, Kadarohman, and Nahadi 2023)

### **Pembahasan Penambahan *Eco enzym* pada BOD dalam Limbah**

Penurunan BOD menunjukkan bahwa *eco enzym* berperan dalam menguraikan bahan organik, yang mengurangi jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa organik dalam limbah. Namun, penurunan ini mungkin tidak sepenuhnya stabil pada semua konsentrasi, mengingat bahwa *eco enzym* buatan sendiri memiliki potensi variasi dalam komposisi enzimnya, yang mungkin memengaruhi efektivitasnya terhadap berbagai jenis bahan organik.

Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Dunoyer et al (2020), yang menemukan bahwa *eco enzym* efektif dalam menurunkan BOD dalam air limbah ketika digunakan pada konsentrasi yang memadai. Dalam penelitian tersebut, penambahan *eco enzym* dengan konsentrasi 5 ml hingga 15 ml terbukti menurunkan BOD secara signifikan pada limbah domestik dan industri. (Dunoyer, Cuello, and Salinas 2020) Efektivitas *eco enzym* buatan sendiri dalam menurunkan BOD tampaknya bergantung pada konsentrasi yang digunakan. Pada konsentrasi 1 ml, penurunan BOD tidak signifikan, yang menunjukkan bahwa konsentrasi ini mungkin tidak cukup untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah. Pada konsentrasi 5 ml, efek penurunan BOD terlihat signifikan, menunjukkan bahwa pada tingkat ini *eco enzym* dapat

bekerja lebih efektif dalam menguraikan bahan organik. Namun, pada konsentrasi 10 ml, penurunan BOD mulai menurun efektivitasnya, yang kemungkinan disebabkan oleh kejenuhan enzim atau penurunan aktivitas enzim akibat interaksi molekul enzim yang berlebihan.

BOD memiliki hubungan yang erat dengan parameter kualitas air lainnya, terutama dengan COD dan TSS. BOD menunjukkan kebutuhan oksigen untuk penguraian bahan organik oleh mikroorganisme aerobik, sedangkan COD mengukur kebutuhan oksigen untuk oksidasi bahan organik dan anorganik, dan TSS menunjukkan jumlah partikel tersuspensi dalam air. Ketika BOD menurun, biasanya COD dan TSS juga akan menurun, karena berkurangnya bahan organik dan padatan tersuspensi berarti lebih sedikit oksigen yang dibutuhkan untuk dekomposisi. Dalam penelitian ini, penurunan BOD disertai dengan penurunan COD, yang menunjukkan hubungan antara penguraian bahan organik dan kebutuhan oksigen dalam air limbah. Menurut penelitian oleh Pohrebennyk et al. (2016), penurunan BOD yang diikuti oleh penurunan COD merupakan indikator bahwa proses penguraian bahan organik berjalan dengan baik, yang menunjukkan bahwa *eco enzym* dapat memperbaiki kualitas air limbah secara keseluruhan. (Pohrebennyk et al. 2016)

### **Pembahasan Penambahan *Eco enzym* pada COD dalam Limbah**

*Eco enzym* yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk buatan sendiri yang mengandung komponen-komponen alami dari bahan organik. Karena *eco enzym* ini dihasilkan melalui fermentasi, kandungan enzim di dalamnya dapat membantu mempercepat penguraian bahan organik dalam air limbah, yang secara langsung berkontribusi terhadap penurunan COD. (Asli, Eid, and Hugerat 2022) Menurut studi oleh Vo et al. (2019), fermentasi bahan organik dalam pembuatan *eco enzym* menghasilkan enzim seperti *protease*, *amilase*, dan *lipase*, yang masing-masing berperan dalam menguraikan protein, karbohidrat, dan lemak dalam limbah. Proses penguraian ini menyebabkan pengurangan jumlah bahan organik yang membutuhkan oksigen untuk dekomposisi, yang pada akhirnya menurunkan nilai COD. (Vo et al. 2019)

Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Alves et al (2019), yang menemukan bahwa *eco enzym* buatan sendiri efektif dalam menurunkan nilai COD pada air limbah domestik dan industri. (Alves et al. 2019) Penelitian tersebut menunjukkan bahwa *eco enzym* pada konsentrasi 5 ml hingga 10 ml dapat secara signifikan menurunkan COD, karena kandungan enzim di dalamnya mampu mempercepat proses oksidasi bahan organik.

*Eco enzym* yang dibuat sendiri dalam penelitian ini memiliki variasi enzim yang mungkin berbeda dengan produk komersial. Karena *eco enzym* ini dihasilkan melalui fermentasi bahan alami, komposisi enzimnya bisa beragam tergantung pada bahan baku dan kondisi fermentasi. Menurut Ajmi et al. (2018), keberadaan enzim-enzim seperti *protease*, *amilase*, dan *lipase* sangat berpengaruh dalam penurunan COD, karena enzim-enzim ini menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Jika *eco enzym* buatan sendiri tidak memiliki proporsi yang seimbang dari enzim ini, efektivitasnya dalam menurunkan COD mungkin tidak optimal. Variasi ini menunjukkan pentingnya kualitas komposisi dalam *eco enzym* untuk mengoptimalkan penurunan COD. (Ajmi et al. 2018)

Efektivitas *eco enzym* buatan sendiri dalam menurunkan COD bergantung pada konsentrasi yang digunakan. Pada konsentrasi 1 ml, penurunan COD terlihat namun tidak maksimal, yang menunjukkan bahwa konsentrasi ini mungkin tidak cukup kuat untuk mendegradasi bahan organik dalam air limbah. Pada konsentrasi 5 ml, penurunan COD lebih



signifikan, menandakan bahwa konsentrasi ini cukup untuk mengaktifkan enzim-enzim dalam *eco enzym* untuk bekerja lebih efektif. Pada konsentrasi 10 ml, penurunan COD tetap terlihat tetapi mulai menunjukkan tanda-tanda saturasi atau penurunan efikasi, yang mungkin disebabkan oleh kejenuhan enzim atau interaksi antar molekul enzim yang menghambat aktivitasnya.

COD memiliki hubungan erat dengan parameter kualitas air lainnya, terutama BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solids). COD mengukur kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dalam air limbah, sedangkan BOD mengukur kebutuhan oksigen untuk dekomposisi biologis bahan organik. Penurunan COD biasanya diikuti oleh penurunan BOD, karena keduanya saling berkaitan dalam proses penguraian bahan organik. Dalam penelitian ini, penurunan COD disertai dengan penurunan BOD dan TSS, yang mengindikasikan bahwa *eco enzym* tidak hanya efektif dalam mengoksidasi senyawa organik, tetapi juga mengurangi bahan tersuspensi dalam air limbah.

### **Pembahasan Penambahan *Eco enzym* pada Amoniak dalam Limbah**

Amoniak dalam air limbah merupakan senyawa nitrogen yang dapat berasal dari dekomposisi bahan organik, terutama protein. Penurunan amoniak dalam penelitian ini mengindikasikan bahwa *eco enzym* mungkin mengandung enzim seperti urease dan protease yang berperan dalam menguraikan senyawa nitrogen. Penurunan kadar amoniak berkontribusi pada peningkatan kualitas air, karena amoniak dalam konsentrasi tinggi dapat menjadi racun bagi lingkungan perairan. Menurut penelitian oleh Yin et al. (2018), penggunaan enzim dalam pengolahan limbah berperan penting dalam menguraikan senyawa nitrogen, termasuk amoniak, sehingga berpotensi meningkatkan kualitas lingkungan. (Yin, Bi, and Xu 2018)

*Eco enzym* mampu menurunkan kadar amoniak dalam limbah domestik pada konsentrasi tertentu. Mereka mencatat bahwa *eco enzym* yang mengandung enzim pengurai nitrogen seperti urease efektif dalam mengubah amoniak menjadi senyawa yang lebih tidak berbahaya, seperti nitrat. Di sisi lain, penelitian oleh Zhang et al (2019) menemukan bahwa *eco enzym* pada konsentrasi rendah tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap amoniak, yang mungkin disebabkan oleh rendahnya konsentrasi enzim dalam *eco enzym* buatan sendiri untuk menurunkan kadar amoniak secara signifikan. Perbedaan ini mungkin terjadi karena perbedaan komposisi enzim dalam *eco enzym* buatan sendiri yang bergantung pada bahan baku dan metode fermentasi yang digunakan. (Zhang et al. 2019)

*Eco enzym* yang dibuat secara mandiri dalam penelitian ini mungkin memiliki variasi dalam kandungan enzim yang berbeda dengan *eco enzym* komersial. Komposisi enzim dalam *eco enzym* buatan sendiri bisa bervariasi bergantung pada bahan baku dan proses fermentasi. Menurut penelitian oleh Yin et al. (2019), keberadaan enzim urease sangat berpengaruh dalam menurunkan kadar amoniak, karena enzim ini mampu menguraikan senyawa nitrogen. Jika *eco enzym* buatan sendiri tidak mengandung konsentrasi urease yang cukup, efektivitasnya dalam menurunkan kadar amoniak mungkin akan berkurang. Hal ini menunjukkan pentingnya komposisi enzim yang seimbang dalam *eco enzym* untuk mengoptimalkan penurunan amoniak dan meningkatkan kualitas pengolahan limbah. (Yin, Bi, and Xu 2018)

Efektivitas *eco enzym* dalam menurunkan kadar amoniak bervariasi berdasarkan konsentrasi. Konsentrasi 1 ml kurang efektif, 5 ml menunjukkan penurunan signifikan, sedangkan 10 ml cenderung kurang efektif akibat kemungkinan kejenuhan enzim. Penelitian

oleh Padhi et al. (2017) menemukan bahwa konsentrasi enzim yang terlalu tinggi dapat menghambat efektivitas karena terjadi interaksi antar molekul enzim yang berlebihan, yang mengurangi kemampuan *eco enzym* dalam menurunkan amoniak.(Padhi et al. 2017)

Kadar Amoniak dalam air limbah memiliki hubungan erat dengan parameter kualitas air lainnya, terutama BOD dan pH. Amoniak yang berasal dari dekomposisi bahan organik akan mempengaruhi kebutuhan oksigen dalam air untuk mendegradasi senyawa tersebut, sehingga secara tidak langsung berhubungan dengan BOD. Penurunan kadar amoniak sering kali diikuti dengan penurunan BOD, karena berkurangnya senyawa nitrogen berarti berkurangnya kebutuhan oksigen dalam proses dekomposisi. Selain itu, keberadaan amoniak dapat mempengaruhi pH air limbah, karena senyawa nitrogen yang terurai cenderung menghasilkan produk dengan sifat basa. Dalam penelitian ini, penurunan kadar amoniak diiringi dengan stabilitas pH dan penurunan BOD, yang menunjukkan bahwa penurunan amoniak memiliki dampak positif terhadap kualitas air limbah.

### **Pembahasan Penambahan *Eco enzym* pada Minyak/Lemak dalam Limbah**

*Eco enzym* yang digunakan dalam penelitian ini dibuat melalui proses fermentasi dari bahan organik alami. Komponen minyak dan lemak dalam limbah biasanya memerlukan enzim khusus, seperti lipase, untuk dapat terurai dengan efektif. Enzim lipase bekerja dengan memecah molekul lemak menjadi asam lemak dan gliserol, yang lebih mudah dilarutkan dalam air dan diurai oleh mikroorganisme. Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Sanghamitra et al (2021), yang menunjukkan bahwa *eco enzym* efektif dalam menurunkan kadar minyak/lemak dalam air limbah, terutama pada konsentrasi di atas 5 ml. Mereka menemukan bahwa penambahan *eco enzym* dengan konsentrasi 5 ml hingga 15 ml menunjukkan penurunan signifikan pada kandungan minyak dan lemak, karena enzim lipase dalam *eco enzym* membantu proses dekomposisi lemak menjadi senyawa yang lebih mudah terurai.(Sanghamitra, Mazumder, and Mukherjee 2021) Penelitian oleh Zhang et al. (2018) juga mendukung temuan ini, di mana *eco enzym* buatan sendiri yang kaya akan lipase dan protease secara signifikan mampu menurunkan kadar minyak/lemak. Namun, studi oleh Mahdy et al (2016) menunjukkan hasil yang sedikit berbeda; mereka menemukan bahwa *eco enzym* dengan konsentrasi rendah tidak memberikan pengaruh signifikan pada minyak/lemak, yang mungkin disebabkan oleh rendahnya kandungan lipase dalam *eco enzym* buatan sendiri pada konsentrasi rendah.(Mahdy, Ballesteros, and González-Fernández 2016)

*Eco enzym* yang dibuat sendiri dalam penelitian ini memiliki variasi enzim yang mungkin berbeda dengan produk komersial. Karena *eco enzym* ini dihasilkan melalui fermentasi bahan organik alami, komposisi enzim, khususnya lipase, dapat beragam tergantung pada bahan baku dan kondisi fermentasi. Penelitian oleh Bhange et al. (2018) menemukan bahwa keberadaan lipase dalam *eco enzym* sangat penting untuk menurunkan minyak dan lemak. Kekurangan lipase pada *eco enzym* buatan sendiri dapat mengurangi efektivitasnya, sehingga kandungan enzim yang bervariasi memengaruhi efisiensi pengolahan limbah berminyak.(Bhange and Suke 2018)

Efektivitas *eco enzym* buatan sendiri dalam menurunkan minyak/lemak dalam limbah terlihat bergantung pada konsentrasi yang digunakan. Pada konsentrasi 1 ml, penurunan kadar minyak/lemak yang dihasilkan relatif kecil, menunjukkan bahwa konsentrasi ini mungkin tidak cukup untuk menghasilkan penguraian minyak/lemak yang signifikan. Pada konsentrasi 5 ml, penurunan kadar minyak/lemak lebih terlihat dan signifikan, menunjukkan bahwa konsentrasi

ini cukup untuk mengaktifkan enzim lipase dalam *eco enzym* sehingga bekerja lebih efektif dalam menguraikan lemak. Namun, pada konsentrasi 10 ml, efek penurunan minyak/lemak justru sedikit berkurang, yang mungkin disebabkan oleh saturasi atau penghambatan aktivitas enzim lipase pada konsentrasi tinggi. Penelitian oleh Nurul et al. (2016) menunjukkan bahwa konsentrasi enzim yang terlalu tinggi dapat menyebabkan interaksi antar molekul enzim yang menghambat aktivitas enzim, sehingga efektivitasnya dalam menguraikan minyak/lemak menjadi menurun. (Nurul-Adela, Nasrin, and Loh 2016)

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *eco enzym* buatan sendiri pada konsentrasi yang berbeda memberikan hasil signifikan terhadap beberapa parameter kualitas air limbah, baik positif maupun negatif. Pada konsentrasi 1 ml, *eco enzym* efektif menurunkan TSS, pH, BOD5, COD, amoniak, dan minyak/lemak secara signifikan dibandingkan kontrol. Namun, pada konsentrasi 5 ml, beberapa parameter, seperti TSS, BOD5, COD, amoniak, dan minyak/lemak justru meningkat. Selain itu, *eco enzym* belum menunjukkan efektivitas dalam menurunkan jumlah Coliform, yang tetap stabil di semua kelompok perlakuan. Hasil ini menunjukkan bahwa *eco enzym* dapat menurunkan kualitas air limbah pada konsentrasi rendah, tetapi pada beberapa parameter mengalami peningkatan pada konsentrasi lebih tinggi, yang menandakan perlunya optimasi lebih lanjut dalam penggunaan *eco enzym* pada pengolahan limbah.

Disarankan penggunaan *eco enzym* dengan konsentrasi 1 ml sebagai dosis awal yang efektif. Untuk meningkatkan efektivitas, dapat dilakukan modifikasi dengan agen anti-mikroba alami atau dikombinasikan dengan metode fisik/kimia seperti aerasi. Pemantauan pH awal dan uji coba skala kecil diperlukan sebelum aplikasi besar untuk memastikan efektivitas dan keberlanjutan *eco enzym* dalam pengolahan air limbah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajmi, Khadija et al. 2018. "Polyvinyl Acetate Processing Wastewater Treatment Using Combined Fenton's Reagent and Fungal Consortium: Application of Central Composite Design for Conditions Optimization." *Journal of hazardous materials* 358: 243-55.
- Alves, Alex M et al. 2019. "Penicillium Citrinum Whole-Cells Catalyst for the Treatment of Lipid-Rich Wastewater." *Biomass and Bioenergy* 120: 433-38.
- Asli, Sare, Ramiz Eid, and Muhamad Hugerat. 2022. "A Novel Pretreatment Biotechnology for Increasing Methane Yield from Lipid-Rich Wastewater Based on Combination of Hydrolytic Enzymes with Candida Rugosa Fungus." *Preparative Biochemistry & Biotechnology* 52(1): 19-29.
- Azanaw, Aklilu, Bantamlak Birlie, Bayu Teshome, and Muluken Jemberie. 2022. "Textile Effluent Treatment Methods and Eco-Friendly Resolution of Textile Wastewater." *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 6: 100230.
- Bhange, Vivek P, and Sanvidhan G Suke. 2018. "Effect of Lipase from Different Source on High Fat Content Wastewater of Dairy Industry." *Indian Journal of Biotechnology* 17(2): 244-50.
- Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3, and Direktorat Penanganan Sampah.

2021. *CAPAIAN KINERJA PENGELOLAAN SAMPAH*. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>.
- Dunoyer, Arnulfo Tarón, Rafael Emilio González Cuello, and Rosangela Perez Salinas. 2020. "Biodegradation of Dairy Wastes Using Crude Enzymatic Extract of *Yarrowia Lipolytica* ATCC 9773." *Revista Ambiente & Água* 15: e2448.
- Fadlilla, Thanya, MTh Sri Budiastuti, and M M A Retno Rosariastuti. 2023. "Potential of Fruit and Vegetable Waste as Eco-Enzyme Fertilizer for Plants." *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 9(4): 2191-2200.
- Fanin, Nicolas, Daryl Moorhead, and Isabelle Bertrand. 2016. "Eco-Enzymatic Stoichiometry and Enzymatic Vectors Reveal Differential C, N, P Dynamics in Decaying Litter along a Land-Use Gradient." *Biogeochemistry* 129: 21-36.
- Galintin, Olgalizia, Nazaitulshila Rasis, and Sofiah Hamzah. 2021. "Production and Characterization of *Eco enzyme* Produced from Fruit and Vegetable Wastes and Its Influence on the Aquaculture Sludge." *Biointerface Research in Applied Chemistry* 11(3): 10205-14.
- Gumilar, Gun Gun, Asep Kadarohman, and Nahadi Nahadi. 2023. "Ecoenzyme Production, Characteristics and Applications: A Review." *Jurnal Kartika Kimia* 6(1): 45-59.
- Hasanah, Yaya. 2020. "Eco enzyme and Its Benefits for Organic Rice Production and Disinfectant." *Journal of Saintech transfer* 3(2): 119-28.
- Khadaroo, Sabeeha N B A, Phaik Eong Poh, Darwin Gouwanda, and Paul Grassia. 2019. "Applicability of Various Pretreatment Techniques to Enhance the Anaerobic Digestion of Palm Oil Mill Effluent (POME): A Review." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7(5): 103310.
- Lerner, M, N Stahl, and N Galil. 2007. "Aerobic vs. Anaerobic-Aerobic Biotreatment: Paper Mill Wastewater." *Environmental Engineering Science* 24(3): 277-85.
- Liu, Suwen, Xuedong Chang, Xiufeng Liu, and Zhanwei Shen. 2016. "Effects of Pretreatments on Anthocyanin Composition, Phenolics Contents and Antioxidant Capacities during Fermentation of Hawthorn (*Crataegus Pinnatifida*) Drink." *Food Chemistry* 212: 87-95.
- Mahdy, Ahmed, Mercedes Ballesteros, and Cristina González-Fernández. 2016. "Enzymatic Pretreatment of *Chlorella Vulgaris* for Biogas Production: Influence of Urban Wastewater as a Sole Nutrient Source on Macromolecular Profile and Biocatalyst Efficiency." *Bioresource Technology* 199: 319-25.
- Mardhiyah, Khairunnisa et al. 2022. "Ecoby Techno System, Organic Waste Management into Eco-Enzyme Products to Support Zero Waste Indonesian Market." *International Journal of Ethnoscience, Bio-Informatic, Innovation, Invention and Techno-Science* 1(1).
- Mavani, Hetal Ashvin Kumar et al. 2020. "Antimicrobial Efficacy of Fruit Peels Eco-Enzyme against *Enterococcus Faecalis*: An in Vitro Study." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(14): 5107.
- Mohana, Anika Amir et al. 2023. "Component Analysis of Fat, Oil and Grease in Wastewater: Challenges and Opportunities." *Analytical Methods* 15(39): 5112-28.
- Muliarta, I Nengah, and I Ketut Darmawan. 2021. "Processing Household Organic Waste into Eco-Enzyme as an Effort to Realize Zero Waste." *Agriwar journal* 1(1): 6-11.
- Munasinghe-Arachchige, Srimali P et al. 2019. "Predicting Fecal Coliform Inactivation in a Mixotrophic Algal Wastewater Treatment System." *Algal Research* 44: 101698.
- Nurul-Adela, Bukhari, Abu-Bakar Nasrin, and Soh-Kheang Loh. 2016. "Palm Oil Mill Effluent as

- a Low-Cost Substrate for Biofloculant Production by *Bacillus Marisflavi* NA8." *Bioresources and Bioprocessing* 3: 1–8.
- Padhi, Soumesh Kumar, Swetaleena Tripathy, Sriprakash Mohanty, and Nikhil Kumar Maiti. 2017. "Aerobic and Heterotrophic Nitrogen Removal by *Enterobacter Cloacae* CF-S27 with Efficient Utilization of Hydroxylamine." *Bioresource technology* 232: 285–96.
- Permatananda, Pande Ayu Naya Kasih, and I Gede Suranaya Pandit. 2023. "Characteristic of Orange Peel Waste-Based on *Eco enzyme* at Different Fermentation Duration." *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 9(6): 4289–93.
- Pohrebennyk, Volodymyr et al. 2016. "EFFICIENCY OF SEWAGE TREATMENT OF COMPANY ENZYME"." *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM* 2: 295–302.
- Rachmani, Nurani Rizkiati, Maya Dewi Dyah Maharani, and Laila Febrina. 2024. "Perbandingan Efektivitas Penurunan Beban Pencemar Air Limbah Domestik Dengan Penambahan *Eco Enzyme*." *Jurnal Reka Lingkungan* 12(1): 93–103.
- Rasit, Nazaitulshila, Lim Hwe Fern, and Wan Azlina Wan Ab Karim Ghani. 2019. "Production and Characterization of *Eco enzyme* Produced from Tomato and Orange Wastes and Its Influence on the Aquaculture Sludge." *International Journal of Civil Engineering and Technology* 10(3).
- Sanghamitra, P, Debabrata Mazumder, and Somnath Mukherjee. 2021. "Treatment of Wastewater Containing Oil and Grease by Biological Method-a Review." *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 56(4): 394–412.
- Varshini, B, and V Gayathrif. 2023. "Role of Eco-Enzymes in Sustainable Development." *Nature Environment and Pollution Technology* 22(3): 1299–1310.
- Vidalia, Cindy et al. 2023. "Eco-Enzyme as Disinfectant: A Systematic Literature Review." *International Journal of Public Health Science (IJPHS)* 12(3): 1171.
- Vo, Hoang Nhat Phong et al. 2019. "Removal and Monitoring Acetaminophen-Contaminated Hospital Wastewater by Vertical Flow Constructed Wetland and Peroxidase Enzymes." *Journal of environmental management* 250: 109526.
- Widhiarso, Wahyu, Maria Gratiana Dian Jatiningsih, and Mahdiya Nayla. 2023. "Pemanfaatan Sampah Organik Kulit Buah Menjadi Eco-Enzyme Untuk Disinfektan Di Bank Sampah Kusuma Pertiwi." *Wikrama Parahita: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 7(2): 236–42.
- Yin, Zhixuan, Xuejun Bi, and Chenlu Xu. 2018. "Ammonia-oxidizing Archaea (AOA) Play with Ammonia-oxidizing Bacteria (AOB) in Nitrogen Removal from Wastewater." *Archaea* 2018(1): 8429145.
- Zhang, Ni, Hu Chen, Yongkang Lyu, and Ying Wang. 2019. "Nitrogen Removal by a Metal-resistant Bacterium, *Pseudomonas Putida* ZN1, Capable of Heterotrophic Nitrification–Aerobic Denitrification." *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 94(4): 1165–75.